

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.

Process for measuring the positioning errors of structured patterns used in semiconductor production comprises forming test grating structures, and measuring the light bent at the structures

Patent Number: DE19925831
Publication date: 2000-12-14
Inventor(s): BAUER JOACHIM (DE); BISCHOFF JOERG (DE)
Applicant(s):: INST HALBLEITERPHYSIK GMBH (DE)
Requested Patent: ☐ DE19925831
Application Number: DE19991025831 19990607
Priority Number(s): DE19991025831 19990607
IPC Classification: G03F9/00 ; H01L23/544 ; G01J1/22
EC Classification: H01L23/544, G03F7/20T22
Equivalents:

Abstract

Positioning errors of structured patterns are measured by forming test grating structures (4, 7) in at least one plane; measuring light bent at the structures; determining connection between bent light and positioning of both test lattice structures to each other by calibrating and simulating; and determining positioning errors using intensity measurement of bent light of bending level(s). Preferred Process: The test grating structure is produced by etching a metal layer, an insulating layer or a semiconductor.

Data supplied from the esp@cenet database - I2



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 199 25 831 A 1**

⑤ Int. Cl.⁷
G 03 F 9/00
H 01 L 23/544
G 01 J 1/22

⑳ Aktenzeichen: 199 25 831.7
㉔ Anmeldetag: 7. 6. 1999
㉕ Offenlegungstag: 14. 12. 2000

DE 199 25 831 A 1

㉑ Anmelder:
Institut für Halbleiterphysik Frankfurt (Oder) GmbH,
15230 Frankfurt, DE

㉒ Vertreter:
Heitsch, W., Pat.-Anw., 14778 Jeserig

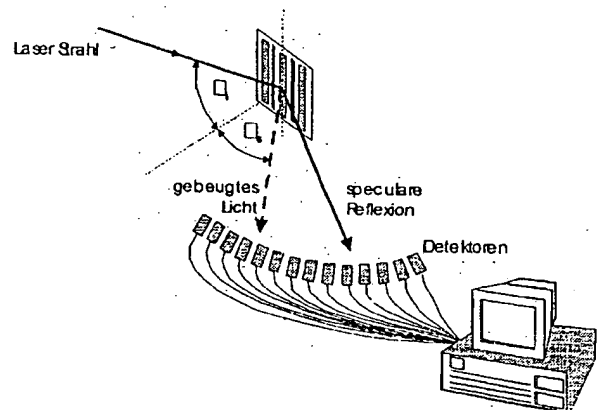
㉓ Erfinder:
Bauer, Joachim, Dr., 15326 Lebus, DE; Bischoff,
Joerg, Dr., 98704 Langwiesen, DE

㉔ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:
US 56 22 796
US 54 68 580
US 54 52 090
EP 06 34 702 A1
EP 02 72 853 A2
WO 97 45 773 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

㉕ Verfahren zur Messung des Positionierungsfehlers von Strukturmustern

㉖ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Messung des Positionierungsfehlers von Strukturmustern, insbesondere für die Anwendung in der Halbleiterherstellung. Aufgabe der Erfindung ist es, mit Hilfe der an sich bekannten Scatterometrie der inversen Streulicht-Verteilung und einer anschließenden Datenanalyse in einem ersten Anlernschritt und nachfolgenden Auswertungsschritten ein Verfahren vorzuschlagen, nach dem der Positionierungsfehler zweier lithographischer Ebenen direkt im Herstellungsprozeß ermittelt werden kann. Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Verfahren gelöst, das durch folgende Schritte gekennzeichnet ist:
A Erzeugung zweier Testgitterstrukturen in mindestens einer Ebene,
B Messung des an den Testgitterstrukturen gebeugten Lichts,
C Ermittlung des Zusammenhangs zwischen dem gebeugten Licht und der Positionierung der beiden Testgitterstrukturen zueinander durch Kalibriermessungen und durch Simulationsberechnungen und
D Bestimmung des Positionsfehlers mittels Messung der Intensität des gebeugten Lichts einer oder mehrerer Beugungsordnungen.



DE 199 25 831 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Messung des Positionierungsfehlers von Strukturmustern, die in mehreren Ebenen übereinander angeordnet sind, insbesondere für die Anwendung in der Halbleiterherstellung.

In dem Bestreben der Erzielung höherer Packungsdichten erreichen die Strukturbreiten in Halbleiterbauelementen eine Größenordnung von sub. 0,25 µm. Das macht in dem Herstellungsprozeß eine Positionierungsgenauigkeit von kleiner 5 nm erforderlich, wobei der zu betrachtende Gesamtfehler aus der Summe von Einstell- und Maschinenschlechte besteht. Die derzeit angewendeten Meßverfahren beruhen im wesentlichen auf optischen, abbildenden Verfahren, die mit einer hochgenauen Bildverarbeitung gekoppelt sein können. Trotz der enormen Kosten, die die Anfertigung von Geräten auf der Basis dieser Verfahren fordert, stoßen die optischen, abbildenden Meßverfahren bei Strukturbreiten von 0,6–0,8 µm, verursacht durch die Apertur und die Wellenlänge des Lichts, an ihre physikalischen Grenzen. Dabei lassen sich die zugesagten Meßgenauigkeiten nur unter besonderen Bedingungen erzielen, beispielsweise bei sehr kontrastreichen Objekten beziehungsweise nur außerhalb des Produktionsprozesses unter speziellen Laborbedingungen. Geräte mit kürzeren Abbildungswellenlängen, wie beispielsweise Rasterelektronenmikroskope, sind noch kostenintensiver, arbeiten nicht zerstörungsfrei, sind deshalb nicht in-line-fähig und sind zum Teil strahlungsgefährdend.

Unter Verzicht auf die Abbildung der zu messenden Strukturmuster bieten indirekte Messungen auf der Grundlage von Streulicht-Methoden höhere Genauigkeiten. Eine Information über die Struktur wird dabei aus den relativen Intensitäten des Lichts in den einzelnen Beugungsordnungen gewonnen. Bekannt geworden ist hierzu ein Gerät zur fotoelektrischen Messung des Positionierungsfehlers zweier zueinander beweglicher Körper, wobei der eine Körper ein Skalen-Gitter und der andere Körper ein Index-Gitter trägt. Auf das Skalen-Gitter fällt ein direkter Lichtstrahl in der Weise, daß das reflektierte, das Index-Gitter passierende Licht zumindest teilweise diffus ist. Das das Index-Gitter passierende Licht wird zwecks Analyse der räumlichen, periodischen Verteilung seiner Beugungsmuster auf einer Skala fotoelektrischer Wandler abgebildet. Aus der Intensität der räumlichen, periodischen Verteilung des Streulichts wird auf die Position der beiden Körper zueinander geschlossen, vgl. US-PS 4.079.252.

In Bezug auf den Herstellungsprozeß von Halbleiterstrukturen hat die hier angewendete Methode den Nachteil, daß zwei räumlich getrennte Gitter mit fester Gitterperiode in ihrer Position zueinander vermessen werden.

Ein weiteres Verfahren zur Messung des Positionierungsfehlers bedient sich zweier übereinander angeordneter Submikrometer-Gitterstrukturen unterschiedlicher Periodizität. Dabei ist die eine Gitterstruktur an einen Bezugskörper gebunden, während die andere Gitterstruktur mit einer lithographischen Vorlage in Verbindung steht. Ein diese Anordnung passierender Lichtstrahl läßt ein Beugungsmuster des Lichts entstehen, dessen räumliche Verteilung Aufschluß über die Position der lithographischen Vorlage in Hinsicht auf den Bezugskörper gewährt, vgl. US-PS 5.216.257 und 5.343.292.

Diesen Verfahren gemeinsam haftet der Mangel an, daß die Position der zu prüfenden Struktur nur in Relation auf den Bezugskörper bestimmt werden kann, wobei jeweils die zu prüfende Struktur und der Bezugskörper zu Meßzwecken an einem vorbestimmten Punkt außerhalb der lithographischen Vorlage die zueinander auszurichtenden Gitterstrukturen aufweisen. Eine derartige Anordnung läßt lediglich die

Schlußfolgerung zu, daß nach Ausrichtung der Gitterstrukturen auch die lithographischen Strukturen in der gewünschten Genauigkeit zueinander ausgerichtet sind. Ein Fehler zwischen Gitterstruktur und lithographischer Vorlage bleibt dabei unberücksichtigt. Der Fehler zweier lithographischer Ebenen wird nicht unmittelbar gemessen, und der tatsächliche Zustand der Positionierung zweier Ebenen bleibt unbekannt.

Weiter wurde der Öffentlichkeit bekanntgemacht, daß mit Meßverfahren auf der Basis der inversen Streulichtverteilung die Meßgenauigkeit an lithographischen Strukturen erheblich verbessert werden kann. Dazu wird das an sehr feinen Strukturen reflektierte und in mehreren Ordnungen gebeugte Licht als Scatterogramm aufgezeichnet. Die anschließende Datenanalyse geschieht in zwei Schritten. In dem ersten Schritt ist ein Anlernzyklus mit einer rigorosen Vorwärtsmodellierung verbunden. In dem folgenden Schritt werden die so gewonnenen Daten zur Interpretation der aufgezeichneten Scatterogramme genutzt und auf die Breite der Strukturen geschlossen. Es wurde gezeigt, daß derartige Scatterogramme an unterschiedlichen Materialien des Herstellungsprozesses von integrierten Schaltkreisen gewonnen werden können, vgl. Photoresist metrology based on light scattering – SPIE Vol. 2725; Diffraction analysis based on characterization of very fine gratings – SPIE Vol. 3099-25; Optical scatterometry of quarter micron patterns using neural regressions – SPIE Vol. 333.

Mit den hier aufgezeigten Meßverfahren sind erstmals Messungen im Submikrometer-Bereich möglich geworden, wobei die Breite einzelner Strukturelemente unter Laborbedingungen ermittelt wird. Ungelöst bleibt jedoch das Problem, den Positionierungsfehler einer Struktur zu bestimmen, die in einem folgenden technologischen Schritt auf eine vorhandene Struktur aufgebracht wurde.

Aufgabe der Erfindung ist es, mit Hilfe der an sich bekannten Scatterometrie der inversen Streulicht-Verteilung und einer anschließenden Datenanalyse in einem ersten Anlernschritt und nachfolgenden Auswertungsschritten ein Verfahren vorzuschlagen, nach dem der Positionierungsfehler zweier lithographischer Ebenen direkt im Herstellungsprozeß ermittelt werden kann.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Verfahren gelöst, das durch die folgenden Verfahrensschritte gekennzeichnet ist:

- A: Erzeugung von zwei Testgitterstrukturen in mindestens einer Ebene,
- B: Messung des an den Testgitterstrukturen gebeugten Lichts,
- C: Ermittlung des Zusammenhanges zwischen dem gebeugten Licht und der Positionierung der beiden Testgitterstrukturen zueinander durch Kalibriermessung und durch Simulationsberechnung und
- D: Bestimmung des Positionierungsfehlers mittels Messung der Intensität des gebeugten Lichts einer oder mehrerer Beugungsordnungen.

Bevorzugt wird der Positionierungsfehler mittels Messung des gebeugten Lichts einer jeweils 1. Ordnung bestimmt. Dazu wird je eine Testgitterstruktur in einer Schaltebene und in einer weiteren Ebene erzeugt. In einer anderen bevorzugten Ausführung wird auf einem Substrat zuerst eine erste Testgitterstruktur erzeugt und danach das Substrat anhand der Marken der ersten Testgitterstruktur erneut justiert und innerhalb der ersten Testgitterstruktur eine zweite Testgitterstruktur erzeugt. Vorteilhafterweise wird auf dem Substrat mittels eines lithographischen Verfahrens, insbesondere Fotolithographie, mit der Strukturierung einer

Schaltkreisstruktur zugleich eine Testgitterstruktur erzeugt. Die Schaltkreisstruktur, in der die Testgitterstruktur erzeugt wird, ist eine Ebene im Halbleiter-Herstellungszustand. Dabei wird die Testgitterstruktur durch Ätzen einer Metallschicht, einer Isolationsschicht oder eines Halbleiters erzeugt. In einer weiteren vorteilhaften Ausführung wird die festgitterstruktur durch das Belichten und Entwickeln einer Fotoresistschicht erzeugt. Die Strukturweite der Testgitterstrukturen liegt im μm - bis sub μm -Bereich. Vorteilhafterweise ist das Pitch einer Testgitterstruktur größer als die Summe aus dem maximalen absoluten Positionierungsfehler und den Strukturweiten der Testgitterstrukturen. Vorzugsweise besitzt die Testgitterstruktur aus der Fotoresistschicht dieselbe Strukturweite wie die Testgitterstruktur, die in einer Schaltkreisstruktur erzeugt wird, so daß ein Mischgitter mit doppelter Strukturweite entsteht.

Zur Durchführung des Verfahrens wird auf die Testgitterstrukturen ein unter einem bestimmten Winkel einfallender Lichtstrahl gerichtet. In einer anderen Ausführung werden auf die Testgitterstrukturen gleichzeitig mehrere, unter verschiedenen Winkeln einfallende Lichtstrahlen gerichtet. Die Intensität des gebeugten Lichts wird an einer seiner räumlichen Verteilung entsprechenden Skala fotoelektrischer Wandler gemessen. Vorzugsweise wird ein Lichtstrahl aus einem Laser auf die Testgitterstrukturen gerichtet. In einer anderen Ausführung wird ein Lichtstrahl aus einer monochromatischen Strahlungsquelle auf die Testgitterstrukturen gerichtet.

Die Merkmale der Erfindung gehen außer aus den Ansprüchen auch aus der Beschreibung und den Zeichnungen hervor, wobei die einzelnen Merkmale jeweils für sich allein oder zu mehreren in Form von Unterkombinationen schutzfähige Ausführungen darstellen, für die hier Schutz beansprucht wird. Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden im folgenden näher erläutert. In den Zeichnungen zeigen:

Fig. 1a)-i): Verfahrensschritte zur Herstellung von Testgitterstrukturen in der Ebene einer Schaltkreisstruktur und in einer lithographischen Ebene,

Fig. 2 schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Streulichtmessung,

Fig. 3 Darstellung der Diffraktionseffektivität in Abhängigkeit vom Positionierungsfehler für ein erstes Beispiel,

Fig. 4a)-g) Verfahrensschritte zur Herstellung von Testgitterstrukturen in einer Ebene

Fig. 5 Darstellung der Diffraktionseffektivität in Abhängigkeit vom Positionierungsfehler für ein zweites Beispiel.

Beispiel 1

Das Beispiel 1 zeigt die erfindungsgemäßen Verfahrensschritte zur Messung des Positionierungsfehlers einer Bauelemente-Ebene zu einer weiteren lithographischen Ebene innerhalb des Herstellungsprozesses für ein Halbleiterbauelement. Die Aufeinanderfolge der einzelnen Verfahrensschritte ist in der Fig. 1 dargestellt.

Auf einem Substrat 1 ist eine erste Ebene als eine Testgitterstruktur herzustellen. Bei der ersten Ebene handelt es sich in diesem Beispiel um eine Schaltkreisstruktur in Form einer Metallisierung 2 aus Aluminium. Eine Schaltkreisstruktur als eine Ebene im Halbleiter-Herstellungszustand können beliebige Metallisierungen, unterschiedliche Halbleitermaterialien, wie monokristallines oder polykristallines Silizium, aber auch Isolationsschichten, wie SiO_2 , sein. Dazu wird in einem ersten Schritt (Fig. 1a) auf die Metallisierung 2 eine Fotoresistschicht 3 aufgebracht, belichtet (Fig. 1b) und entwickelt (Fig. 1c). Durch ein Ätzen der Metallisierung 2 (Fig. 1d) entsteht eine erste Testgitterstruktur 4 in der

ersten Ebene in der Form eines Aluminiumgitters. Auf das Aluminiumgitter wird anschließend eine SiO_2 -Schicht 5 (Fig. 1e) aufgebracht. In einer weiteren lithographischen Strukturierung durch das Auftragen einer nächsten Fotoresistschicht 6 und deren Belichtung (Fig. 1f) sowie einer nachfolgenden Entwicklung (Fig. 1g) entsteht in einer zweiten Ebene ein Fotoresistgitter als eine zweite Testgitterstruktur 7. Das Fotoresistgitter besitzt dieselben Strukturmaße wie das Aluminiumgitter, nämlich eine Strukturweite von $0,4 \mu\text{m}$ bei einem Pitch von $1,6 \mu\text{m}$. Das Fotoresistgitter soll derart über der ersten Testgitterstruktur 4 positioniert sein, daß es mittig innerhalb der ersten Testgitterstruktur 4 angeordnet ist. Auf diese Weise entsteht ein Mischgitter aus einer Schaltkreisstruktur und einer Fotoresiststruktur. Die Strukturweiten der beiden Testgitterstrukturen 4; 7 müssen für dieses Verfahren nicht identisch sein, jedoch sollten sich die beiden Gitter auch bei auftretenden Positionierungsfehlern, wie sie beispielhaft in Fig. 1h und Fig. 1i dargestellt sind, nicht überlappen.

Nach der Lithographie folgt die Vermessung der Position mittels einer Streulichtanalyse. Eine Vorrichtung zur Streulichtmessung ist in Fig. 2 schematisch dargestellt. Auf die beiden Testgitterstrukturen 4; 7 werden ein oder gleichzeitig mehrere, unter verschiedenen Winkeln einfallende Lichtstrahlen gerichtet und die Intensitäten der gebeugten Lichtstrahlen an einer ihrer räumlichen Verteilung entsprechenden Skala fotoelektrischer Wandler gemessen. Ein Positionierungsfehler beeinflusst dabei die Streulichtverteilung. Somit ist eine Kontrolle der Positionierungsgenauigkeit der Ebenen zueinander möglich. Die Positionierungsfehler können beispielsweise als Korrekturwert in Datenfiles der Lithographiegeräte (Stepper) eingegeben werden. Somit lassen sich die Positionierungsgenauigkeiten aller Ebenen zueinander korrigieren und verbessern.

Fig. 3 zeigt die Abhängigkeit der Diffraktionseffektivität vom Positionierungsfehler. Es wurde die Intensität der +1. Ordnung bei senkrecht polarisierter Strahlung gemessen. Grundsätzlich ist die Messung der Intensität jeder anderen Beugungsordnung ebenfalls möglich, jedoch wird die Messung der Intensität des gebeugten Lichts der +1. bzw. -1. Ordnung bevorzugt, da in diesen Ordnungen die stärksten Intensitäten auftreten und das gebeugte Licht im Sinne des Meßverfahrens sehr sensibel reagiert. Es ist aber auch die Messung des in höheren Ordnungen gebeugten Lichts bzw. der gesamten Streulichtverteilung möglich. In diesem Ausführungsbeispiel wurde ein Helium-Neon-Laser mit einer Wellenlänge von 633 nm zur Erzeugung der polarisierten Strahlung verwendet. Es können aber auch andere Laser oder monochromatische Strahlungsquellen vom roten bis zum UV-Bereich genutzt werden. Durch Kalibriermessungen und durch Simulationsberechnungen wird der Zusammenhang zwischen dem gebeugten Licht und der Positionierung der beiden Ebenen zueinander zunächst ermittelt, während anschließend der Positionierungsfehler genau bestimmt wird.

Beispiel 2

In diesem Ausführungsbeispiel soll die Positionierungsgenauigkeit von lithographischen Geräten bestimmt werden. Hierbei wird ein mit einer Fotoresistschicht 22 beschichtetes Substrat 21 in einer Ebene zur Justierung bzw. Kontrolle der Positionierungsgenauigkeit des Steppers eines lithographischen Gerätes strukturiert. Dazu wird die Fotoresistschicht 22 fotolithographisch strukturiert (Fig. 4a; 4b; 4c), wodurch eine erste Testgitterstruktur 23 entsteht.

Nach dem Entwickeln wird das Substrat 21 erneut in dem Stepper an den Justiermarken der ersten Testgitterstruktur

23 justiert. Es folgt die Belichtung einer zweiten Testgitterstruktur 24 in die erste Testgitterstruktur 23 hinein (Fig. 4d). Nach dem Entwickeln (Fig. 4e) erhält man somit eine zweite Testgitterstruktur 24 innerhalb der ersten Testgitterstruktur 23. Mit ihrer Hilfe läßt sich die Positioniergenauigkeit eines Steppers in einem lithographischen Gerät mittels der bereits im Beispiel 1 beschriebenen Streulichtmessung bestimmen. Zwei Beispiele von Positionierfehlern sind in Fig. 4f) und 4g) dargestellt.

Fig. 5 zeigt die Abhängigkeit der Diffraktionseffektivität von Positionierfehler für das Beispiel 2. Es wurde die Intensität der +1. Ordnung bei senkrecht polarisierter Strahlung gemessen. In diesem Ausführungsbeispiel wurde ebenfalls ein Helium-Neon-Laser mit einer Wellenlänge von 633 nm zur Erzeugung der polarisierten Strahlung verwendet. Durch Kalibriermessungen und durch Simulationsberechnungen wird der Zusammenhang zwischen dem gebeugten Licht und der Positionierung der beiden Ebenen zueinander ermittelt. Anschließend wird der Positionierfehler genau bestimmt.

In der vorliegenden Erfindung wurde anhand konkreter Ausführungsbeispiele ein Verfahren zur Messung des Positionierfehlers von Strukturmustern erläutert. Es sei aber vermerkt, daß die vorliegende Erfindung nicht auf die Einzelheiten der Beschreibung in den Ausführungsbeispielen eingeschränkt ist, da im Rahmen der Patentansprüche Änderungen und Abwandlungen beansprucht werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung des Positionierungsfehlers von Strukturmustern, **gekennzeichnet durch** die Verfahrensschritte:
 - A: Erzeugung von zwei Testgitterstrukturen (4; 7; 23; 24) in mindestens einer Ebene,
 - B: Messung des an den Testgitterstrukturen (4; 7; 23; 24) gebeugten Lichts,
 - C: Ermittlung des Zusammenhanges zwischen dem gebeugten Licht und der Positionierung der beiden Testgitterstrukturen (4; 7; 23; 24) zueinander durch Kalibriermessung und durch Simulationsberechnung und
 - D: Bestimmung des Positionierungsfehlers mittels Messung der Intensität des gebeugten Lichts einer oder mehrerer Beugungsordnungen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Positionierungsfehler mittels Messung des gebeugten Lichts einer jeweils 1. Ordnung bestimmt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß je eine Testgitterstruktur (4; 7) in einer Schaltkreisebene und in einer weiteren Ebene erzeugt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß auf einem Substrat (1) zuerst eine erste Testgitterstruktur (23) erzeugt wird und danach das Substrat (1) anhand der Marken der ersten Testgitterstruktur (23) erneut justiert und innerhalb der ersten Testgitterstruktur (23) eine zweite Testgitterstruktur (24) erzeugt wird.
5. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß auf einem Substrat (1) mittels eines lithographischen Verfahrens, insbesondere Fotolithographie, mit der Strukturierung einer Schaltschaltungsstruktur zugleich eine Testgitterstruktur (4) erzeugt wird.
6. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die

Schaltkreisstruktur, in der die Testgitterstruktur (4) erzeugt wird, eine Ebene im Halbleiter-Herstellungsprozeß ist.

7. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Testgitterstruktur (4) durch Ätzen einer Metallschicht, einer Isolationsschicht oder eines Halbleiters erzeugt wird.

8. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Testgitterstruktur (7; 23; 24) durch das Belichten und Entwickeln einer Fotoresistschicht (3; 6; 22) erzeugt wird.

9. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Strukturbreite der Testgitterstrukturen (4; 7; 23; 24) im µm-Bereich bis subµm-Bereich liegt.

10. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Pitch einer Testgitterstruktur (4; 7; 23; 24) größer als die Summe aus dem maximalen absoluten Positionierungsfehler und den Strukturbreiten der Testgitterstrukturen ist.

11. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Testgitterstruktur (7) aus der Fotoresistschicht (6) dieselbe Strukturbreite besitzt wie die Testgitterstruktur (4), die in einer Schaltschaltungsstruktur erzeugt wird, so daß ein Mischgitter mit doppelter Strukturbreite entsteht.

12. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß auf die Testgitterstrukturen (4; 7; 23; 24) ein unter einem bestimmten Winkel einfallender Lichtstrahl gerichtet wird.

13. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß auf die Testgitterstrukturen (4; 7; 23; 24) gleichzeitig mehrere, unter verschiedenen Winkeln einfallende Lichtstrahlen gerichtet werden.

14. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Intensität des gebeugten Lichts an einer seiner räumlichen Verteilung entsprechenden Skala fotoelektrischer Wandler gemessen wird.

15. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Lichtstrahl aus einem Laser auf die Testgitterstrukturen (4; 7; 23; 24) gerichtet wird.

16. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Lichtstrahl aus einer monochromatischen Strahlungsquelle auf die Testgitterstrukturen (4; 7; 23; 24) gerichtet wird.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

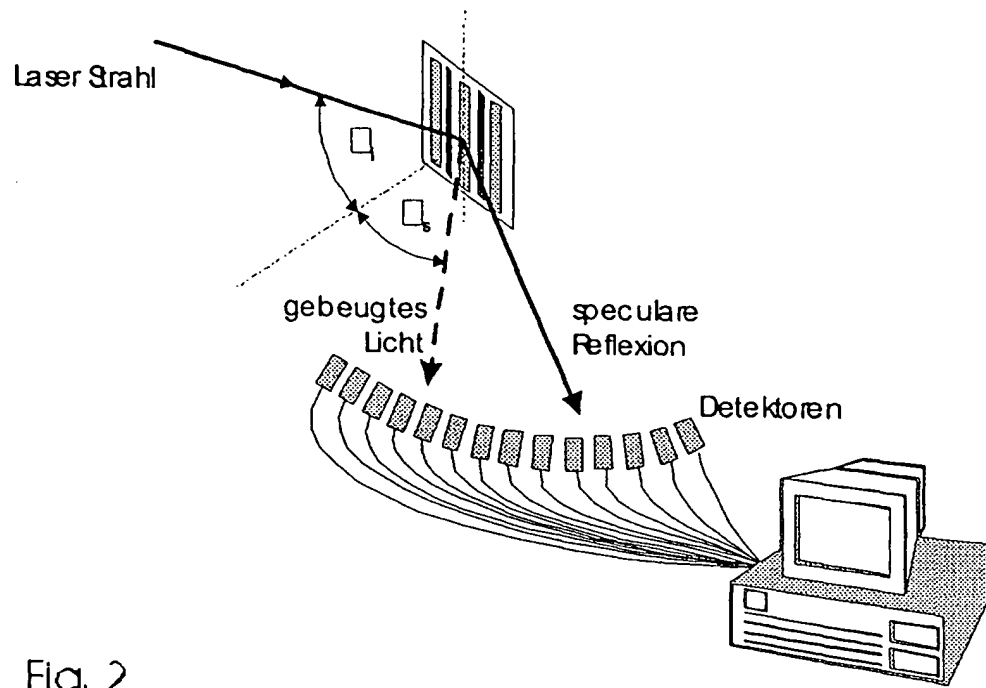


Fig. 2

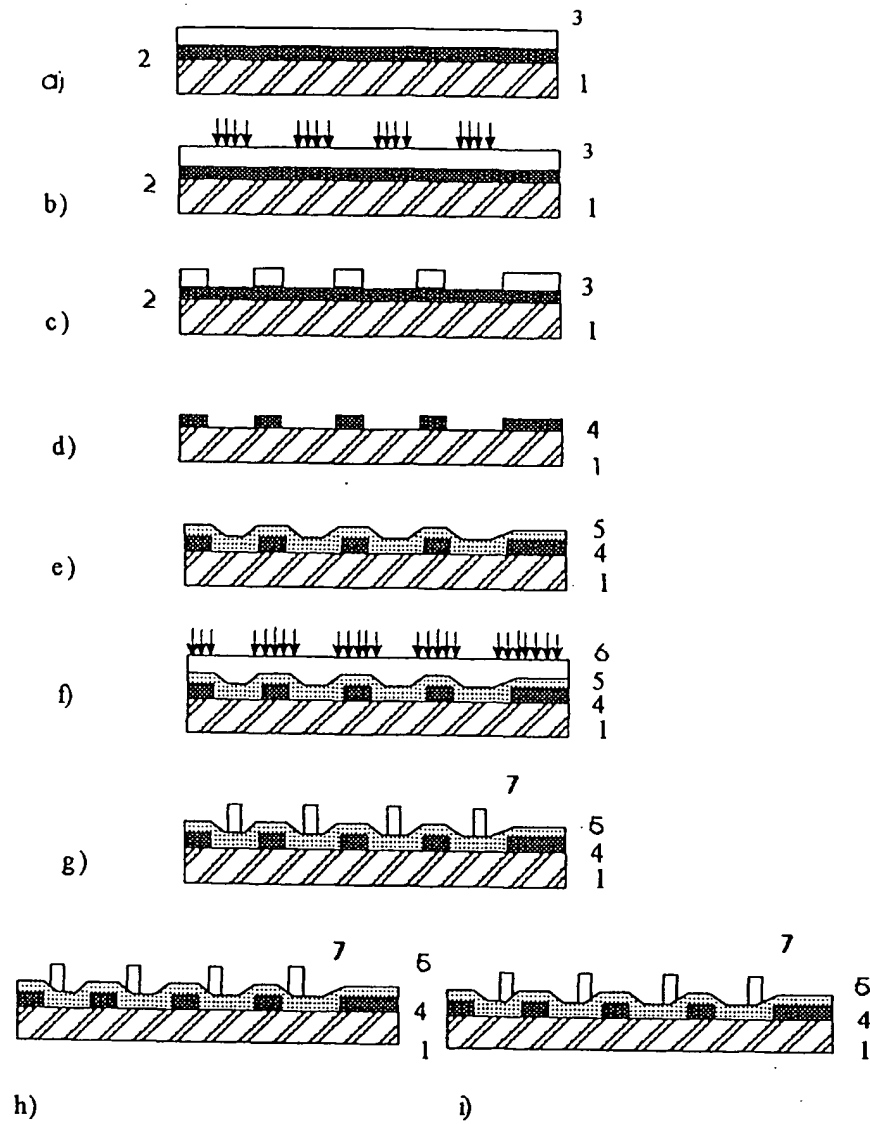


Fig. 1

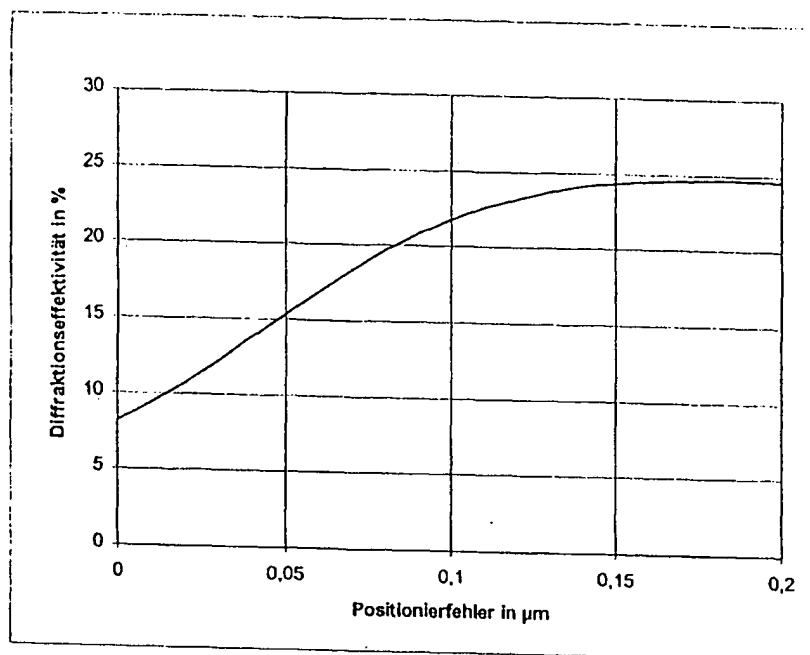


Fig. 3

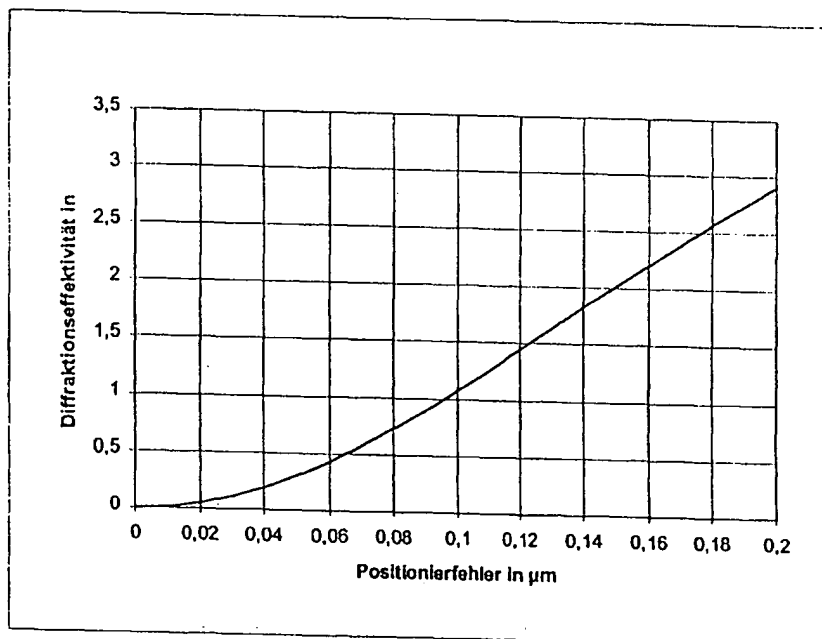


Fig. 5

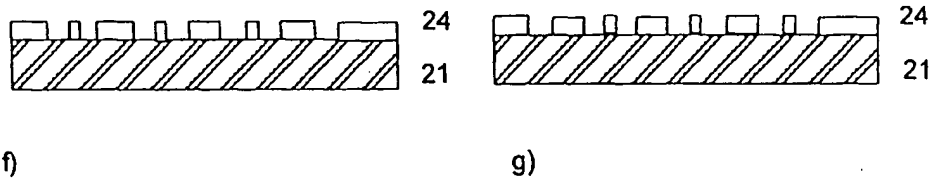
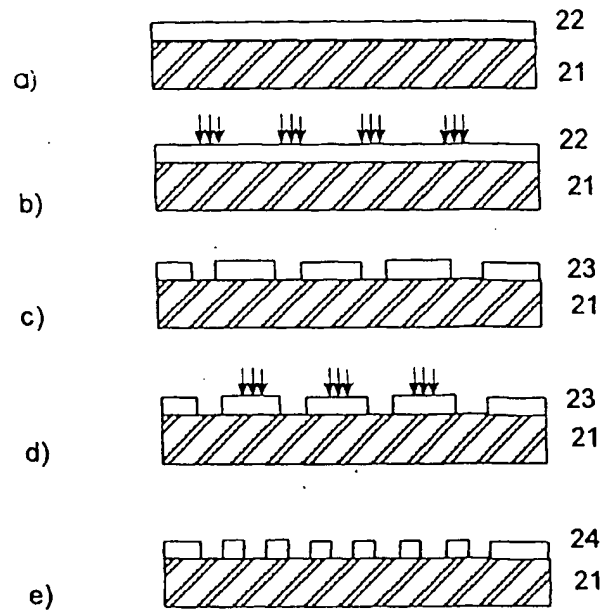


Fig. 4

Overlay Patent (Offenlegungsschrift) DE 199 25 831 A1

(This is a free translation from parts of the German Original. It is devised for internal purposes only.)

Dates:

Original Title: "Verfahren zur Messung des Positionierfehlers von Strukturmustern" (Method for the Measurement of Positioning Errors of Micropatterns)

Submitted by: Institut für Halbleiterphysik Frankfurt/ O., 15230
Frankfurt/O. Germany

Inventors: Dr. Joachim Bauer, Dr. Joerg Bischoff

Day of Patent Submission: 7.6. 1999

Day of Publication: 14.12. 2000

Summary

The invention concerns a method for the measurement of the positioning error between (micro-)patterns, particularly aimed at the application in microtechnology and semiconductor manufacturing.

The goal of the invention is a metrology technique relying on the known optical scatterometry (usually applied for CD-measurement and profile extraction) by means of which the positioning error between two lithography steps can be determined directly during the manufacturing process.

By the invention this task is solved by a technique that is characterized by the following steps:

- A. Generation of at least two concurrent test pattern gratings assigned to two different lithography or process steps.
- B. Measurement of the light diffracted from these test patterns.

- C. Determination of the correlation between the diffracted light and the relative positioning of the two patterns to each other by means of calibration measurements and (numerical) simulations.
- D. Determination of the positioning (overlay) error by measuring the diffracted light of one or several diffraction orders.

Examples

A. Example 1 (Overlay Measurement)

Example 1 relates to the measurement of one device layer to a consecutive lithographic layer during the chip manufacturing. The process steps are shown in fig. 1.

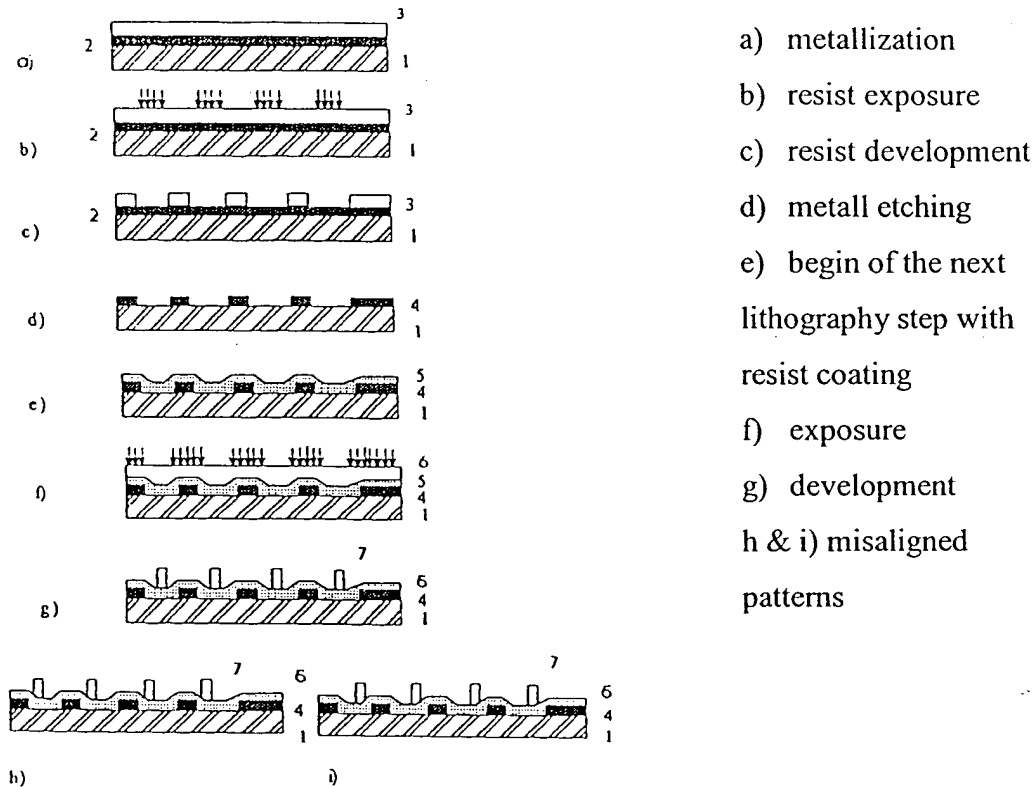


Fig. 1: Test pattern and its processing steps for overlay measurement (characteristic example); Figure 1g shows the complete pattern. Figure 1h and 1i show misaligned cases.

The diffraction measurement is performed after the second resist development (figure 1g, h or i). Figure 2 shows the diffraction efficiency versus the misalignment for the first diffraction order in reflection at normal incidence.

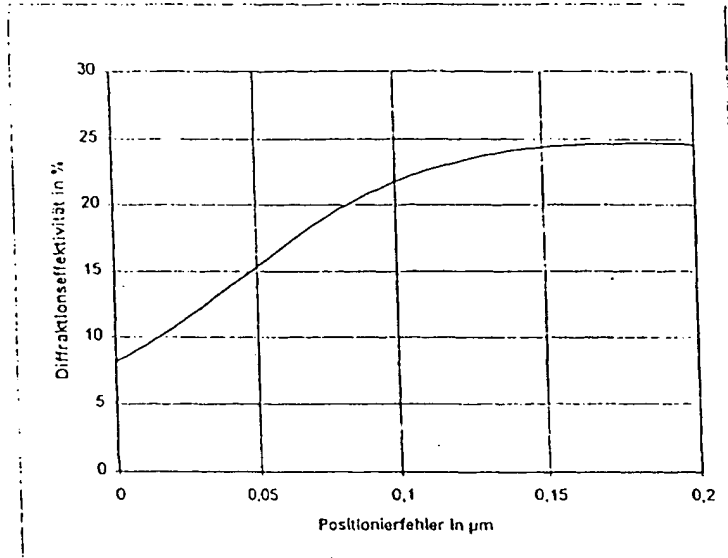


Fig. 2: First order diffraction efficiency vs. overlay error for the pattern of fig. 1g-i

B. Example 2 (Tool Characterization)

The second example pertains to the positioning precision of lithographic steps. To this end, a resist pattern is exposed and developed in a first lithographic step. Thereafter the preprocessed sample is realigned in the stepper, exposed and developed again. These steps are shown schematically in figure 3. The complete test pattern exhibits fig. 3 e. Fig. 3f and 3g show misaligned patterns. The positioning precision of the stepper can now be characterized accurately by means of the diffraction response from these patterns. Figure 3 shows the processing of positive resist. In the case of negative resist the treatment is quite analogous.

In figure 4, the efficiency of the first diffraction order in reflection is plotted versus the alignment error. Choosing the grating period appropriately the first order disappears at ideal alignment.

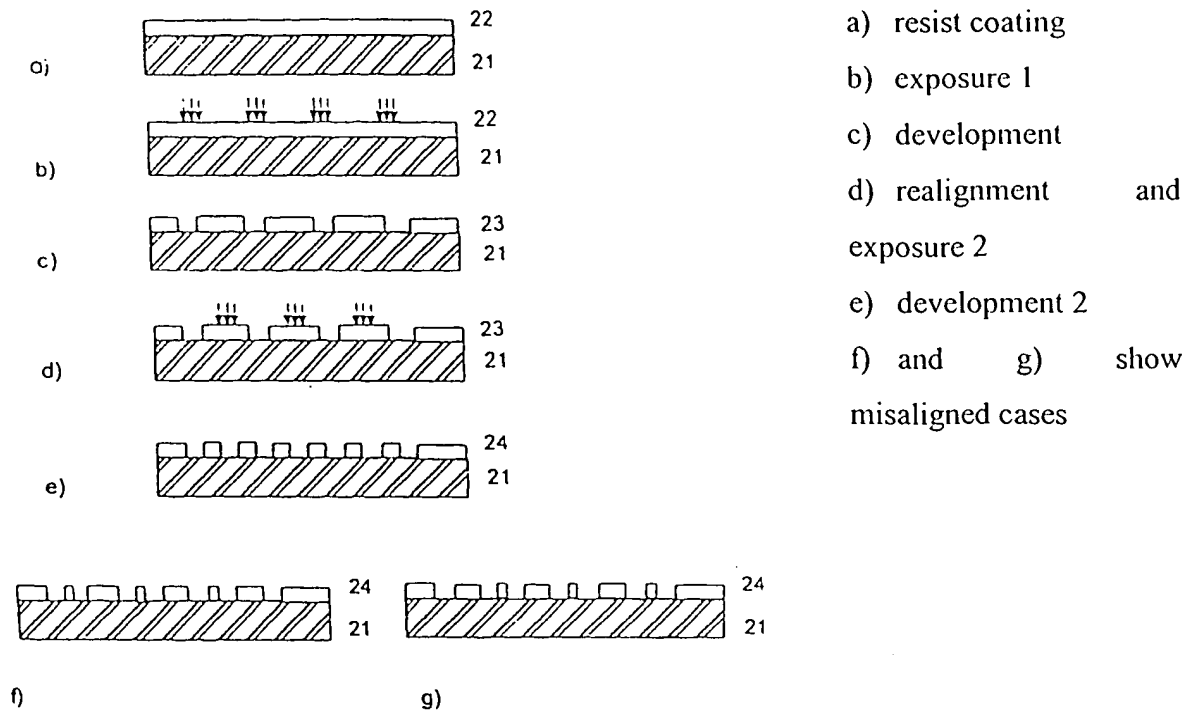


Fig. 3: Test pattern and its processing steps for tool evaluation (characteristic example); Figure 3e shows the complete pattern. Figure 3f and 3g show misaligned cases.

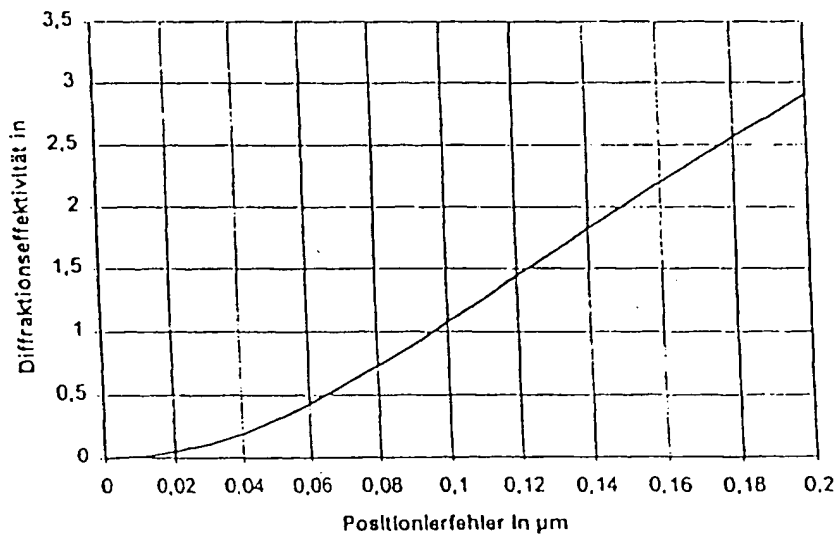


Fig. 4: First order diffraction efficiency vs. Overlay error for the pattern of fig. 3e-g

Claims

1. Methods for the measurement of positioning errors characterized by the following steps:
 - A: Generation of two test patterns (4,7,23,24)
 - B: Measurement of the diffracted light from these patterns (4,7,23,24)
 - C: Determination of the correlation between measurement signal and misalignment at these test patterns (4,7,23,24) by means of calibration or simulation modeling
 - D: Computation of the positioning error based on the diffracted light measurement
2. The method of claim 1, wherein the first diffraction order is chosen for measurement.
3. The method of claim 1 and 2, wherein one elementary pattern (4) is assigned to one device layer and another pattern (7) is assigned to a consecutive layer.
4. The method of claim 1 and 2, wherein first a test pattern (23) is generated in one layer, then after development the stepper is realigned with this pattern or alignment marks that were generated in the first step and finally, a second pattern is generated in the resist (24).
5. The method of one or several of the previous claims, wherein a test pattern (4) is generated in a substrate concurrently with the device patterns by means of a lithographic method, particularly photolithography.
6. The method of one or several of the previous claims, with the device structure of claim 5 being a layer in a semiconductor manufacturing process.
7. The method of one or several of the previous claims, wherein the test pattern (4) is generated by means of etching a metallic layer, an insulating layer or a semiconductor material.
8. The method of one or several of the previous claims, wherein the test patterns (7,23,24) are generated by the development of a photoresist layer.
9. The method of one or several of the previous claims, wherein the line-width of the test patterns (4,7,23,24) is in the micron or sub-micron range.
10. The method of one or several of the previous claims, wherein the pitch of the test patterns (4,7,23,24) is greater than the sum of the maximum absolute positioning errors and the linewidths of the test patterns.

11. The method of one or several of the previous claims, wherein the test pattern (7) has the same line-width as the test pattern (4) resulting in a composite grating of the doubled frequency (half pitch).
12. The method of one or several of the previous claims, wherein the test patterns (4,7,23,24) are probed with a light beam striking under a certain angle.
13. The method of one or several of the previous claims, wherein the test patterns (4,7,23,24) are probed with multiple light beams striking concurrently under different angles.
14. The method of one or several of the previous claims, wherein the spatial distribution of the diffracted light is measured by means of a photoelectric sensor.
15. The method of one or several of the previous claims, wherein the probing light beam emanates from a laser.
16. The method of one or several of the previous claims, wherein the probing light beam emanates from a monochromatic light source.